

OPTIMALISASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI BATIK MENGGUNAKAN INTEGRASI *BIOFILTER* DAN *CONSTRUCTED WETLANDS* SEBAGAI SUMBER DAYA AIR TERBARUKAN

Guntur Arif Firmansyah

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : gunturfirmanasyah@mhs.unesa.ac.id

Erina Rahmadyanti

Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : erinarahmadyanti@unesa.ac.id

Abstrak

Air limbah yang dihasilkan selama proses produksi batik mengandung bahan kimia beracun dan sulit terurai yang dapat menyebabkan meningkatnya BOD, COD, TSS, pH maupun logam berat. Air limbah yang dihasilkan dari batik atau industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik yang sulit terurai, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama dari lingkungan akuatik. *Effluent* dari industri batik pada proses *boiling* tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Permen LH RI No. 5 Tahun 2014. Sistem pengolahan air limbah alami seperti *constructed wetlands* (CWs) dan *biological sand filter* menjadi alternatif yang relevan dalam mengolah air limbah karena efisiensinya, biayanya maupun pengoperasiannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah air limbah industri batik menggunakan integrasi *biofilter* dan CWs. Penelitian dilakukan dengan membuat skala kecil dari alat integrasi *biofilter* dan *constructed wetlands* yang kemudian dilakukan uji coba kinerja alat dengan mengalirkan sampel air limbah industri batik. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan untuk masing-masing parameter COD, TSS, dan minyak & lemak sebesar 72,67-86,67%; 95,85-98,18%; dan 79,47-90,04%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air hasil pengolahan limbah industri batik masih melebihi baku mutu yang telah ditetapkan sehingga air hasil pengolahan tidak diperbolehkan untuk dibuang ke badan air. Air hasil pengolahan juga tidak dapat diperuntukkan oleh masyarakat karena tidak memenuhi kriteria mutu air pada kelas air yang ditetapkan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk pemanfaatan air hasil pengolahan sebagai air bahan bangunan.

Kata Kunci: limbah industri batik, *boiling*, *biofilter*, *constructed wetlands*

Abstract

Wastewater produced during the batik production process contains toxic and non-biodegradable chemicals resulting in high BOD, COD, TSS, pH and heavy metals. Wastewater generated from batik or textile industries is generally a non-biodegradable organic compound, which can cause environmental pollution, especially of the aquatic environment. Effluent from the batik industry during the boiling process did not meet the standard for discharged effluent in accordance with the Minister of Environment Regulation No.5 of 2014. Natural wastewater treatment systems such as constructed wetlands and biological sand filters are becoming an increasingly relevant alternative for treating wastewater due to its efficiency, low establishment costs and low operation and management requirements. This research aims to treat batik industry wastewater by using biofilter and CWs integration. The research was conducted by making a small scale from the biofilter and constructed wetlands integration, then tested by flowing samples of batik industry wastewater. The results indicated removal efficiency for each parameter of COD, TSS, and fat & oil amounts 72.67-86.67%; 95.85-98.18%; and 79.47-90.04%. The results showed that the treated water from batik industry waste processing still exceeds meet the standard for discharged effluent so that the treated water is not allowed to be discharged into water bodies. The treated water also cannot be used by the community because it does not meet the water quality criteria for the specified water class. Further research is needed for the utilization of treated water as building materials.

Keywords: batik industry wastewater, boiling, biofilter, constructed wetlands

PENDAHULUAN

Isu global yang sedang dihadapi oleh negara di dunia yaitu masalah lingkungan yang kritis, khususnya pada kualitas air yang dipengaruhi oleh limbah domestik maupun industri (Rahman, et al., 2018). Sumber utama masalah lingkungan yang perlu dibuang dengan benar yaitu limbah industri (Rahman, et al., 2018), salah satunya adalah limbah industri tekstil. Air limbah yang dihasilkan dari industri tekstil adalah salah satu yang paling berpolusi diantara semua sektor industri seperti farmasi, pabrik kertas dan cat (Khalik, et al., 2015). Industri tekstil terbesar di Asia Tenggara yaitu industri batik (Rashidi, et al., 2012).

Dampak limbah industri batik sangat dirasakan oleh negara Indonesia yang mempunyai batik sebagai warisan budaya dunia dan telah diakui oleh *United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization* (UNESCO) pada tahun 2009 (Sutisna, et al., 2017; Sharifah, et al., 2017; Mukimin, et al., 2018; Suprihatin, 2014). Masalah utama yang terkait dengan industri batik adalah pembuangan air limbah yang dihasilkan selama proses perendaman, pendidihan, dan pembilasan tanpa pengolahan yang tepat (Suprihatin, 2014; Birgani, et al., 2016; Sharifah, et al., 2017; Mukimin, et al., 2018) yang melepaskan bahan kimia beracun dan sulit terurai seperti lilin, zat pewarna, zat penguat (Sharifah, et al., 2017) dan bahan-bahan sintesis yang sulit untuk terdegradasi (Sutisna, et al., 2017; Suprihatin, 2014; Khalik, et al., 2015). Hal tersebut menjadi masalah serius yang melibatkan volume besar air dan bahan kimia yang dapat menyebabkan meningkatnya pH, BOD, COD, TSS, maupun logam berat (Rashidi, et al., 2013; Birgani, et al., 2016; Mukimin, et al., 2018). Air limbah yang dihasilkan dari batik atau industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik yang sulit terurai, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama dari lingkungan akuatik (Sutisna, et al., 2017; Andriani & Hartini, 2017; Suprihatin, 2014; Mukimin, et al., 2018; Birgani, et al., 2016; Rashidi, et al., 2013).

Air limbah dengan konsentrasi polutan yang tinggi membutuhkan pengolahan yang ekstensif sebelum dibuang ke lingkungan (Mukimin, et al., 2018; Supenah, et al., 2015). Teknologi *physicochemical* seperti pengendapan kimia, ultrafiltrasi, adsorpsi karbon, koagulasi, flokulasi, dan oksidasi ozon telah diterapkan untuk pengolahan limbah industri batik (Mukimin, et al., 2018). Namun, teknologi tersebut merupakan teknologi yang mahal untuk diterapkan dalam reaktor skala penuh (Mukimin, et al., 2018). Hal tersebut menyebabkan dibutuhkan sistem pengolahan yang dapat memenuhi permintaan, serta memiliki biaya dan perawatan yang murah namun juga termasuk teknologi yang ramah

lingkungan. Sistem pengolahan air limbah alami seperti *constructed wetlands* (CWs) dan *biological sand filter* menjadi alternatif yang relevan dalam mengolah air limbah karena efisiensinya, biayanya maupun pengoperasiannya (Adrados, et al., 2014). Sistem *wetlands* merupakan sistem yang sangat direkomendasikan karena mempunyai biaya instalasi dan manajemen yang rendah (Pérez-López, et al., 2018).

Constructed wetlands (CWs) dianggap sebagai metode yang efisien dalam mengolah air tercemar karena memiliki perawatan yang rendah serta kinerja yang kuat (Jing, et al., 2015). CWs yang memiliki kombinasi antara bahan filter dan tanaman air dapat mengurangi kandungan organik, nitrogen dan fosfor secara bersamaan (Jing, et al., 2015). Kelemahan dari CWs yaitu apabila digunakan dalam pengolahan air yang sangat tercemar, area yang luas biasanya dibutuhkan (Jing, et al., 2015). Selain itu, dalam periode iklim dingin (suhu rendah) ketika tanaman air mulai memudar, kinerja CWs juga mulai menurun dikarenakan rendahnya aktivitas mikroorganisme dan tanaman (Jing, et al., 2015).

Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan *biofilter* sebagai pengolahan awal dan CWs sebagai pengolahan lanjutan dalam mengolah air limbah domestik (Jing, et al., 2015; Ling, et al., 2009). Sistem integrasi tersebut mendapatkan hasil yang memuaskan dalam mengurangi bahan pencemar organik, nitrogen dan fosfor, meskipun dalam iklim dingin (Jing, et al., 2015). Integrasi *biofilter* dan CWs sebagai pengolahan air limbah membutuhkan penelitian yang lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas dari integrasi *biofilter* dan CWs dalam mengolah air limbah industri batik sehingga aman dibuang ke badan air.

METODE

Sampel Air Limbah

Penelitian ini menggunakan sampel air limbah yang berasal dari industri batik rumahan di Jetis, yaitu Batik Tulis Namiroh. Batik Tulis Namiroh terletak di Jetis gang III, RT 13 / RW 03, No. 102, Kec. Sidoarjo, Kab. Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia.

Sampel air limbah batik yang digunakan pada penelitian ini yaitu air limbah pada proses pendidihan (*boiling*). Pemilihan proses pendidihan (*boiling*) dikarenakan proses tersebut memiliki kontaminan sangat tinggi jika dibandingkan dengan dua proses lainnya yaitu perendaman (*soaking*) dan pembilasan (*rinsing*) (Birgani, et al., 2016).

Sampel air limbah diambil menggunakan botol kaca dengan volume 1 L. Pengambilan sampel limbah dilakukan di industri batik secara langsung setelah selesainya proses *boiling* batik sehingga sampel limbah yang digunakan masih dalam kondisi baru atau segar.

Pengambilan sampel air limbah industri batik secara langsung dapat dilihat pada Gambar 1.

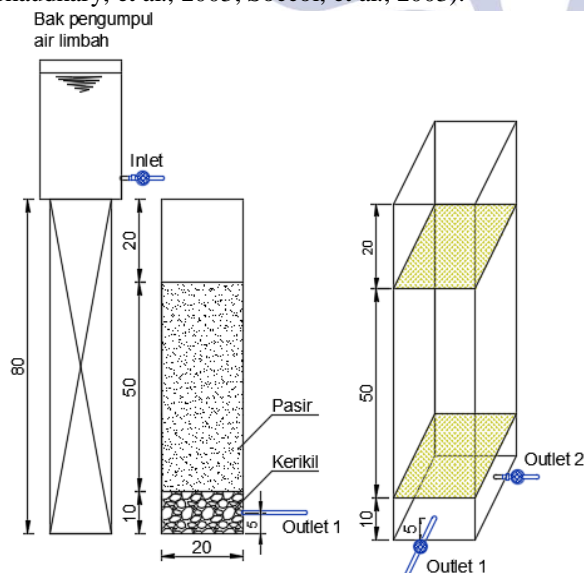


Gambar 1. Pengambilan Sampel Limbah Industri Batik

Pilot Sistem

Biofilter

Biofilter yang digunakan terbuat dari kaca dengan dimensi 20 x 20 x 80 cm. Media filter yang digunakan yaitu pasir dan kerikil. Kerikil diletakkan paling bawah dengan ketinggian 10 cm, sedangkan pasir dengan ketinggian 50 cm. *Free space* dari pasir hingga permukaan atas kaca yaitu 20 cm. Penyekat antara media pasir dan kerikil menggunakan kain kasa. Desain perencanaan *biofilter* dapat dilihat pada Gambar 2. *Biofilter* yang sudah dibuat, dilakukan pengaliran air limbah di dalam *biofilter* selama 2 minggu untuk menumbuhkan lapisan biofilm pada permukaan *biofilter*. Lapisan tersebut berfungsi untuk membantu menurunkan kadar polutan air limbah pada *biofilter* (Sherlyanne, 2017; Chaudhary, et al., 2003; Soccol, et al., 2003).

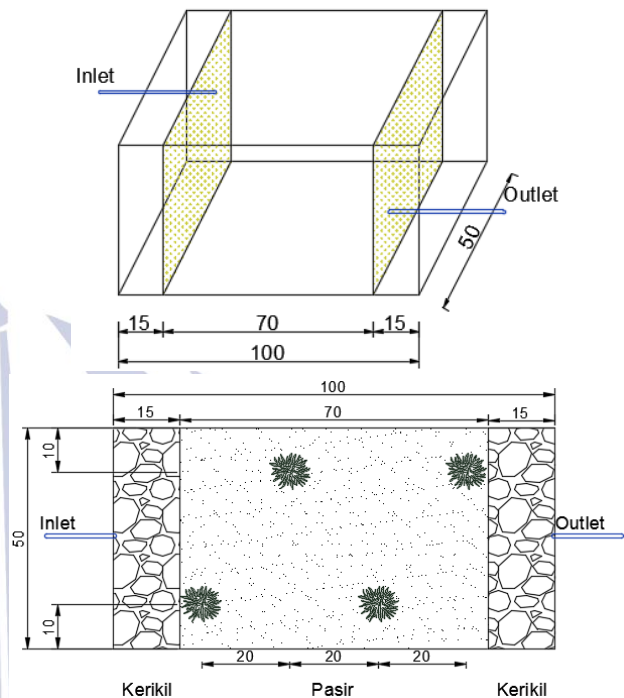


Gambar 2. Desain Perencanaan *Biofilter*

Constructed wetlands

CWs yang digunakan terbuat dari kaca dengan dimensi 100 x 50 x 60 cm. Tipe CWs yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *horizontal subsurface flow* (HSSF). Desain perencanaan CWs dapat dilihat pada Gambar 3. Kerikil diletakkan pada ketebalan 15 cm

sedangkan pasir diletakkan pada ketebalan 70 cm. Penyekat antara media pasir dan kerikil menggunakan kain kasa, dimana air masih dapat melewati kain tersebut serta akar dari tanaman tidak terganggu. *Free space* dari pasir hingga permukaan atas kaca yaitu 30 cm.



Gambar 3. Desain Perencanaan *Constructed wetlands*

Tanaman yang digunakan yaitu *Hymenocallis Littoralis*. *Hymenocallis Littoralis* merupakan tanaman yang pernah digunakan untuk mengamati efisiensi pengurangan *nutrients* (total fosfor: TP dan total nitrogen: TN) pada *surface flow constructed wetlands* (SFCW) (Sirianuntapiboon & Sohsalam, 2012). Penggunaan *Hymenocallis Littoralis* bersama dengan *Canna siamensis* dan *Heliconia spp.* pernah digunakan dalam *constructed wetlands* dengan dialirkan limbah seafood, dan mampu mereduksi BOD, SS, TN, dan TP masing-masing sebesar 91-99%; 52-90%; 72-92%; 72-77% (Sandoval-Herazo, et al., 2018). *H. Littoralis* memiliki potensi aplikasi yang baik di *constructed wetlands* (Qiu, et al., 2011). *Hymenocallis Littoralis* juga menunjukkan tingginya penyerapan fosfor (P) (Sirianuntapiboon & Sohsalam, 2012).

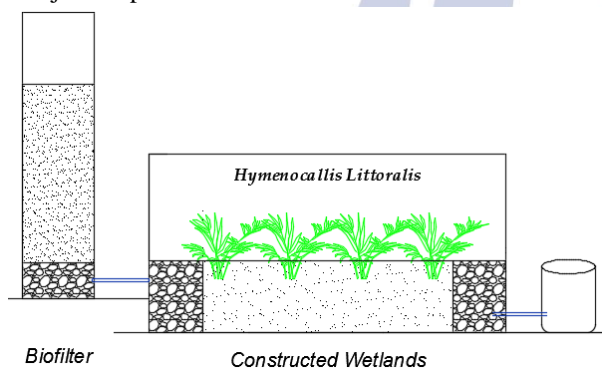
Sebuah data menunjukkan bahwa tingkat penghilangan yang lebih tinggi berkorelasi dengan pertumbuhan yang lebih cepat dan biomassa yang lebih besar (Qiu, et al., 2011). *H. Littoralis* memiliki biomassa yang tinggi jika dibandingkan dengan tanaman akar rhizomatic lainnya sehingga rata-rata penghapusan *nutrient* juga tinggi (Qiu, et al., 2011).

Kepadatan tanaman diperlukan untuk memastikan kinerja pengolahan yang optimal pada *constructed wetlands* (Henderson, 2009). Kepadatan tanaman pada umumnya yaitu 6 – 8 tanaman per m² (Henderson, 2009). Luas dari reaktor *constructed wetlands* yaitu 0.5 m² (0.5 m x 1.0 m) sehingga jumlah tanaman yang digunakan

yaitu 4 tanaman. Aklimatisasi tanaman dilakukan selama 2 minggu, dimana tanaman akan disiram menggunakan air PDAM pada minggu pertama sedangkan pada minggu kedua menggunakan air limbah dengan konsentrasi 25%, 50% dan 75%.

Experimental Setup and Operations

Integrasi teknologi *biofilter* dan HSSFCWs digunakan untuk mengolah air limbah industri batik dengan kinerja yang lebih baik. Air limbah batik dipompa ke tangki air yang terletak di atas *biofilter* dan mengalir ke lapisan atas dan bawah *biofilter* secara alami. Bahan organik, nitrogen dan padatan tersuspensi berkurang secara bersamaan selama pergantian kondisi aerobik dan anoksik dalam *biofilter*. Setelah biofiltrasi, air limbah batik memasuki HSSFCWs untuk mengurangi polutan dan residu lainnya. Diagram skematik integrasi dari 2 metode tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Skematik Integrasi *Biofilter* dan *Constructed wetlands*

Debit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 5,2 ml/menit sedangkan waktu retensi yang digunakan yaitu 3 hari, 5 hari, dan 7 hari. Waktu retensi yang bervariasi bertujuan untuk mengetahui efektifitas dari prototipe yang dibuat.

Metode Analisis

Pengukuran untuk parameter TSS dan minyak & lemak menggunakan metode analisis gravimetri sedangkan parameter COD menggunakan metode refluks. Pengukuran dilakukan pada influen yang sebelum diolah untuk mengetahui karakteristik awal limbah dan efluen setelah diolah. Hasil pengukuran tersebut akan dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (Permen LH RI) No. 5 Tahun 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Industri Batik

Tabel 1 menunjukkan karakteristik air limbah industri batik pada proses *boiling*. Parameter yang dikaji yaitu

TSS, COD, serta minyak & lemak. Nilai dari masing-masing parameter TSS, COD, serta minyak & lemak yaitu 3.180 mg/L, 12.000 mg/L, dan 9.740 mg/L. Nilai dari ketiga parameter tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Permen LH RI No. 5 Tahun 2014 sehingga tidak diperbolehkan untuk dibuang ke badan air.

Hasil pengujian pada Tabel 1 sesuai dengan penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa parameter COD memiliki kadar tertinggi dalam limbah industri batik (Khalik, et al., 2015; Mukimin, et al., 2018). Nilai tersebut mendekati dengan penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa karakteristik limbah batik setelah proses *boiling* memiliki nilai sebesar 13.600 mg/L (Birgani, et al., 2016).

Tabel 1. Karakteristik Limbah Industri Batik

Parameter	Sat	Sampel	Baku Mutu *	Metode Analisis
TSS	mg/L	3,180	50	Gravimetri
COD	mg/L	12,000	150	Refluks
Minyak & Lemak	mg/L	9,740	3	Gravimetri

* Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (Permen LH RI) No. 5 Tahun 2014

Effluent Integrasi *Biofilter*-HSSFCWs

Pengukuran parameter dilakukan pada *biofilter* maupun CWs dengan waktu retensi 3 hari, 5 hari, dan 7 hari. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui efektifitas dari masing-masing alat. Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran yang telah dilakukan.

Tabel 2. Hasil Pengukuran *Effluent Biofilter* dan CWs

Teknologi	Parameter	3 hari	5 hari	7 hari
<i>Biofilter</i>	COD	4127	2770	5030
		4144	2806	5035
		4149	2824	5055
	TSS	241	183	270
		253	199	278
		262	206	298
	FO	2509	1697	3061
		2516	1709	3072
		2535	1718	3077
Integrasi <i>Biofilter</i> dan CWS	COD	1583	2547	3261
		1605	2564	3276
		1612	2569	3303
	TSS	82	123	49
		91	133	60
		102	140	65
	FO	959	1551	1990
		966	1558	1998
		985	1571	2012

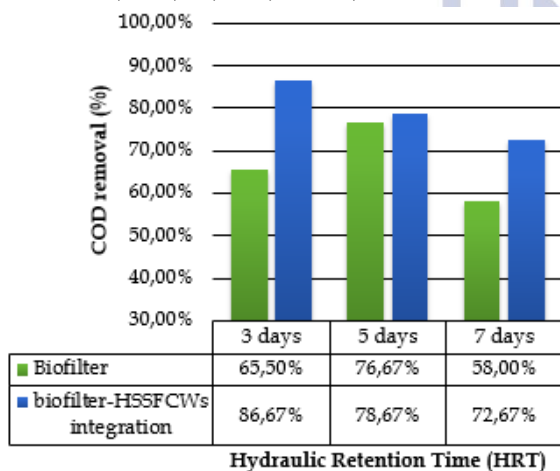
Removal Efficiency COD

Penurunan COD secara fisika dapat terjadi melalui proses adsorpsi. Proses adsorpsi merupakan terkonsentrasinya zat-zat polutan ke permukaan media filter yang disebabkan oleh gaya tarik-menarik antara media filter dengan zat-zat polutan (Said, 2017; Hidayah,

et al., 2018). Media filter seperti kerikil juga dapat membantu menurunkan COD dengan mengendapkan material partikulat (Libhaber & Orozco-Jaramillo, 2012; Hidayah, et al., 2018; Sandoval-Herazo, et al., 2018). Kontaminan organik yang diserap oleh media filter akan dipecah oleh mikroorganisme (ITRC, 2003; Libhaber & Orozco-Jaramillo, 2012; Said, 2005; Ling, et al., 2009; Chaudhary, et al., 2003; Soccol, et al., 2003). Molekul organik dipecah oleh mikroba melalui fermentasi, respirasi aerob maupun anaerob sebagai sumber energi dan karbon untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme (Chaudhary, et al., 2003; Soccol, et al., 2003).

Proses utama yang dilakukan oleh tanaman pada CWs dalam menurunkan karbon organik meliputi *volatilization*, *photochemical oxidation*, *sedimentation*, *sorption*, dan *biodegradation*. Tanaman berperan dalam menurunkan kontaminan dengan membutuhkan *nutrients* melalui proses rhizodegradasi (EPA, 2000). Akar tanaman juga menyediakan sebagai tempat melekatnya mikroorganisme (EPA, 2000; Hidayah, et al., 2018). *Phytodegradation* terjadi ketika enzim yang diproduksi tanaman memecah kontaminan (organik maupun anorganik) yang masuk ke dalam tanaman selama transpirasi. *Phytoaccumulation* merupakan pengambilan dan akumulasi unsur anorganik dalam tanaman, dan *phytostabilization* merupakan kemampuan untuk menyerap senyawa anorganik dalam akar. *Phytovolatilization* merupakan pengambilan dan transpirasi senyawa volatil melalui daun (ITRC, 2003).

Efisiensi penurunan COD yang ditunjukkan pada Gambar 5 mengalami penurunan dari HRT 3 hari sampai HRT 7 hari pada integrasi *biofilter* dan CWs. Hasil pengolahan menggunakan integrasi *biofilter* dan CWs pada HRT 3 hari, 5 hari, dan 7 hari masing-masing sebesar 86,67%; 78,67%; dan 72,67%.



Gambar 5. Efisiensi Penurunan COD

Penurunan tersebut menunjukkan bahwa tanaman mencapai suatu ambang batas akibat meningkatnya

parameter COD. Tanaman yang mencapai ambang batas akan memberikan dampak dan meningkatkan sistemnya sampai tanaman tersebut menjadi jenuh. Meningkatnya parameter COD yang tidak diimbangi dengan kinerja tanaman (kinerja yang tetap atau bahkan menurun) maka tanaman sudah tidak dapat lagi menurunkan kadar COD dan parameter tersebut dapat bersifat racun.

Hasil penelitian tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu, namun terdapat sedikit perbedaan efisiensi penurunan (Jing, et al., 2015; Ling, et al., 2009). Penelitian terdahulu melaporkan bahwa sistem integrasi *biofilter* dan *horizontal CWs* dapat menghilangkan kontaminan COD dengan penghapusan terbesar mencapai 95% (Ling, et al., 2009). Perbedaan tersebut dikarenakan adanya *pretreatment* sebelum limbah dialirkan ke integrasi *biofilter* dan CWs serta menggunakan kombinasi tanaman yaitu *Syzygium campanulatum* dan *Ficus microcarpa*. *Pretreatment* yang digunakan yaitu menggunakan pemisah minyak dan lemak (Ling, et al., 2009). Penelitian lain mengemukakan efisiensi penurunan COD berkisar 82,4–91,4% pada musim panas (Jing, et al., 2015). Penelitian tersebut menggunakan *double-layer biofilter* dengan kombinasi tanaman pada CWs yaitu *C. alternifolius* dan *Canna* (Jing, et al., 2015). CWs yang menggunakan beberapa jenis tanaman akan lebih efektif dalam menurunkan senyawa organik jika dibandingkan dengan menggunakan satu jenis tanaman (Suswati & Wibisono, 2013).

Berdasarkan pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan paling tinggi terjadi pada alat integrasi *biofilter*-CWs HRT 3 hari yaitu 86,67%, dengan kadar COD awal yaitu 12.000 mg/L menjadi 1.600 mg/L.

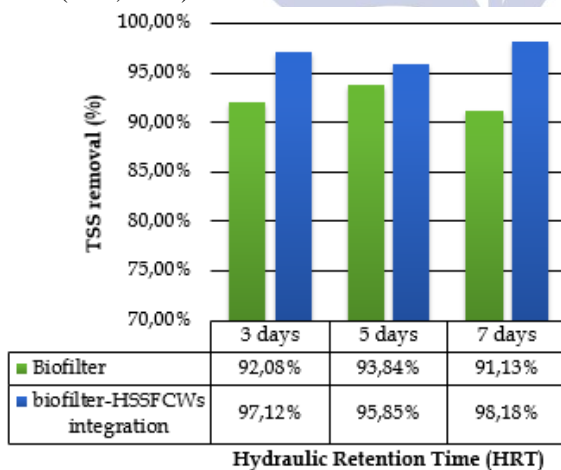
Removal Efficiency TSS

Proses pengolahan secara fisika memiliki peran yang penting dalam menurunkan kadar polutan, terutama dalam menurunkan zat anorganik maupun TSS (ITRC, 2003). Penurunan TSS terjadi akibat adanya sedimentasi dan filtrasi (ITRC, 2003; Libhaber & Orozco-Jaramillo, 2012). Media filter seperti pasir dan kerikil dapat berfungsi sebagai media penyaringan (filtrasi) untuk kontaminan pada air limbah (Libhaber & Orozco-Jaramillo, 2012; Sandoval-Herazo, et al., 2018). Proses sedimentasi menyebabkan air limbah tertahan pada pori-pori substrat yang dikarenakan rendahnya kecepatan air dan waktu retensi. Air limbah secara langsung akan menggantikan rongga-rongga udara yang terdapat pada substrat. CWs yang dibangun dengan menggunakan makrofita (tanaman air) sebagai sistem pengolahan biologis karena dapat meningkatkan sedimentasi (Pérez-López, et al., 2018). Hal tersebut dikarenakan tanaman air dapat memperlambat kecepatan air sehingga memungkinkan bahan tersuspensi untuk mengendap (EPA, 2000).

Gambar 6 menunjukkan kinerja integrasi *biofilter* dan CWs mengalami kenaikan maupun penurunan dalam menurunkan kadar TSS. Hasil pengolahan menggunakan integrasi *biofilter* dan CWs pada HRT 3 hari, 5 hari, dan 7 hari masing-masing sebesar 97,12%; 95,85%; dan 98,18%. Penurunan kadar TSS terjadi karena rongga udara sudah dipenuhi oleh partikel tersuspensi pada air limbah dan hasil penyaringan yang dilakukan oleh tanaman.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu, namun terdapat sedikit perbedaan. Penelitian terdahulu mengemukakan bahwa sistem integrasi *biofilter* dan horizontal CWs dapat menghilangkan kontaminan TSS sebesar 84,38% (Ling, et al., 2009). Perbedaan tersebut terletak pada penggunaan media filter, yaitu menggunakan pasir dan batu kapur sedangkan pada penelitian ini menggunakan pasir dan kerikil sebagai media filter.

Bahan yang dipilih sebagai media filter harus terstruktur dengan sangat baik dan stabil secara fisik untuk memastikan bahwa media tidak menyusut (Soccol, et al., 2003). Media filter yang berpori berfungsi sebagai tempat melekatnya mikroorganisme untuk melakukan biodegradasi dan juga berfungsi sebagai adsorpsi bahan organik maupun anorganik (Showqi, et al., 2016). Pemilihan media filter harus memiliki tekstur yang keras sehingga kemungkinan untuk terjadinya pelapukan lebih kecil (Said, 2017).



Gambar 6. Efisiensi Penurunan TSS

Berdasarkan pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan paling tinggi terjadi pada alat integrasi *biofilter*-CWs HRT 7 hari yaitu 98,18%, dengan kadar TSS awal yaitu 3.180 mg/L menjadi 58 mg/L.

Removal Efficiency Minyak dan Lemak

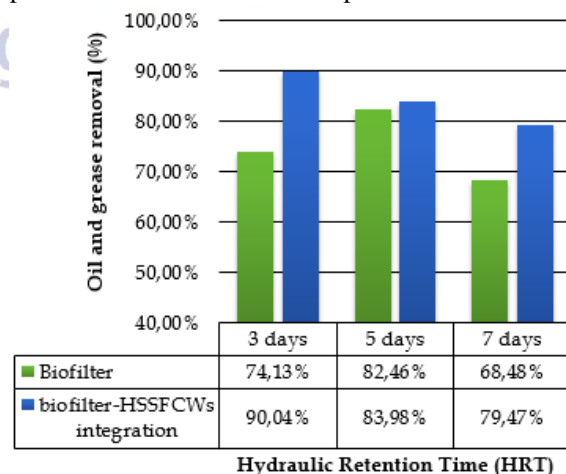
Hidrokarbon terdiri dari berbagai senyawa, baik yang terbentuk secara alami maupun yang dikembangkan secara antropogenik. Hidrokarbon secara kimia dibagi menjadi 2, yaitu alifatik (alkana, alkena, dll) dan aromatik.

Salah satu senyawa yang termasuk dalam hidrokarbon yaitu minyak dan lemak (ITRC, 2003).

Proses utama untuk menghilangkan hidrokarbon adalah *volatilization*, *photochemical oxidation*, *sedimentation*, *sorption*, dan degradasi yang dilakukan oleh mikroba. *Volatilization* merupakan proses degradasi utama untuk senyawa alkana, sedangkan senyawa aromatik cenderung larut dalam air dan ditindaklanjuti oleh proses lain. Secara umum, senyawa dengan berat molekul tinggi mengalami degradasi lebih lambat daripada senyawa dengan berat molekul rendah (ITRC, 2003).

Penurunan minyak dan lemak sangat dipengaruhi oleh keberadaan oksigen terlarut dalam air limbah. Minyak dan lemak merupakan senyawa yang mampu didegradasi oleh mikroorganisme. Biodegradasi merupakan salah satu mekanisme pengolahan hidrokarbon yang dominan. Degradasi terjadi secara aerob maupun anaerob. Laju biodegradasi hidrokarbon di lingkungan aerob lebih cepat daripada di lingkungan anaerob. Hal tersebut dikarenakan oksigen adalah akseptor elektron yang paling disukai secara termodinamik yang digunakan oleh mikroba dalam degradasi karbon organik (ITRC, 2003).

Efisiensi penurunan minyak & lemak yang ditunjukkan pada Gambar 7 mengalami penurunan dari 90,04% sampai 79,47% pada integrasi *biofilter* dan CWs. Penurunan tersebut dikarenakan minyak & lemak merupakan senyawa hidrokarbon yang termasuk bahan organik dan mempunyai rantai karbon yang kompleks dan panjang (Hendrawan, 2008). Kompleks dan panjangnya rantai karbon pada minyak & lemak menyebabkan degradasi mikroorganisme menjadi lambat. Kurangnya penetrasi cahaya matahari dan oksigen terlarut yang terjadi akibat adanya minyak & lemak juga berdampak pada lambatnya kinerja mikroorganisme. Kinerja mikroorganisme yang semakin lambat menyebabkan efisiensi penurunan minyak & lemak mengalami penurunan dari HRT 3 hari sampai HRT 7 hari.



Gambar 7. Efisiensi Penurunan Minyak dan Lemak

Berdasarkan pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan paling tinggi terjadi pada alat integrasi *biofilter*-CWs HRT 3 hari yaitu 90,04%, dengan kadar minyak & lemak awal yaitu 9.740 mg/L menjadi 970 mg/L.

Air Hasil Pengolahan

Hasil pengolahan air limbah industri batik menggunakan integrasi *biofilter* dan CWs tidak mampu untuk menurunkan kadar pencemar ke baku mutu yang telah ditetapkan oleh Permen LH RI No. 5 Tahun 2014. Hal tersebut membuktikan bahwa air hasil pengolahan tidak dapat dibuang ke badan air. Air hasil pengolahan dibandingkan dengan kriteria mutu air pada kelas air yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah (PP) No. 82

Tahun 2001, yang dapat dilihat pada Tabel 3. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui peruntukkan dari air hasil pengolahan.

Tabel 3 menunjukkan bahwa air hasil pengolahan masih melebihi batas kelas yang telah ditentukan, baik kelas I, kelas II, kelas III, maupun kelas IV. Ketiga parameter tersebut, yaitu TSS, COD, serta minyak & lemak melebihi semua batas kelas, kecuali untuk parameter minyak & lemak pada HRT 3 hari. Parameter minyak & lemak pada HRT 3 hari sebesar 970 mg/L tidak melebihi batas kelas yang ditetapkan, yaitu 1.000 mg/L. Namun, parameter lain menunjukkan nilai yang melebihi batas kelas air sehingga dapat disimpulkan bahwa air hasil pengolahan tidak boleh diperuntukkan untuk masyarakat, baik kelas I, kelas II, kelas III, maupun kelas IV.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengolahan dengan Kelas Air

Parameter	Pengolahan dengan Integrasi <i>Biofilter</i> dan CWs HRT (hari)			Kelas*			
	3	5	7	I	II	III	IV
TSS (mg/L)	64	132	58	50	50	400	400
COD (mg/L)	1.600	2.560	3.280	10	25	50	100
Minyak & Lemak (mg/L)	970	1.560	2.000	1.000	1.000	1.000	(-)

* Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001

Air hasil pengolahan diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan. Tabel 4 merupakan perbandingan air hasil pengolahan dengan dengan syarat air yang digunakan sebagai bahan bangunan.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Pengolahan dengan Persyaratan Air Bahan Bangunan

No	Parameter	Air Hasil Pengolahan*	Persyaratan Air Bahan Bangunan
1	Benda-benda tersuspensi	92 mg/L	< 2 gr/L
2	Garam	-	15 gr/L
3	Klorida (Cl)	-	< 0.50 gr/L
4	Sulfat	-	< 1 gr/L
5	Minyak	970 mg/L	2% berat semen
6	Gula	-	2% berat semen
7	Lumpur	-	< 2 gr/L

* Air hasil pengolahan menggunakan integrasi *biofilter*-CWs pada HRT 3 hari

Air hasil pengolahan pada HRT 3 hari untuk parameter TSS sebesar 92 mg/L atau setara dengan 0,092 mg/L. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan TSS yang ditetapkan, yaitu 2 gr/L. Namun, air hasil pengolahan masih belum dipastikan dapat digunakan sebagai bahan bangunan. Hal tersebut dikarenakan penelitian ini hanya mengkaji parameter TSS, COD, serta minyak & lemak. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meneliti parameter garam, klorida maupun sulfat.

Pretreatment

Hasil penelitian menunjukkan bahwa air hasil pengolahan masih melebihi baku mutu yang ditetapkan, terutama untuk parameter COD serta minyak & lemak. Hal tersebut menyebabkan dibutuhkan *pretreatment* sebelum dialirkan ke integrasi *biofilter* dan CWs. Beberapa penelitian juga menggunakan *pretreatment* untuk membantu menurunkan kadar pencemar. *Pretreatment* tersebut diantaranya yaitu menggunakan pemisah minyak & lemak (Ling, et al., 2009), bak pengendapan (Said, 2005; Suprihatin, 2014; Sherlyanne, 2017) dan juga *filtration on the membrane part* untuk menghilangkan padatan tersuspensi (Manyuchi & Ketiba, 2013).

Tiga metode yang banyak digunakan untuk memisahkan minyak & lemak dari air limbah yaitu pemisahan secara gravitasi (*sedimentasi*), penyaringan, dan *air flotation* (Behin & Bahrami, 2012). *Flotation* telah menjadi perhatian utama dalam mengolah limbah cair, terutama untuk limbah yang memiliki perbedaan antara kepadatan fasa kecil (Behin & Bahrami, 2012). Proses yang sering digunakan oleh peneliti untuk memisahkan minyak & lemak dari air limbah yaitu *natural flotation* (Utama, et al., 2012). Pengaplikasian *natural flotation* memerlukan waktu yang lama dan tempat yang besar dalam memisahkan minyak & lemak (Utama, et al., 2012). Konsumsi air yang digunakan dalam proses

pembuatan batik memerlukan jumlah yang besar sehingga *natural flotation* tidak dapat diaplikasikan.

Proses pengolahan minyak & lemak dapat dipersingkat waktu pemisahannya dengan menggunakan udara terlarut pada proses flotasinya atau biasa disebut dengan *dissolved air flotation* (DAF) (Utama, et al., 2012). Proses *pretreatment* termasuk DAF secara signifikan dapat mengurangi konsentrasi minyak & lemak (Dehghani, et al., 2014). *Air flotation* adalah metode yang paling banyak dilakukan karena metode ini paling fleksibel. DAF adalah proses alternatif untuk pemisahan padat-cair dan cair-cair di mana partikel-partikel dihilangkan dengan memberikan gelembung udara (Behin & Bahrami, 2012; Maulinda, 2013). Partikel dari lumpur, padatan tersuspensi, maupun minyak & lemak yang terapung dapat disaring secara periodik (Maulinda, 2013). Udara yang masuk dalam air limbah akan berkontak dengan padatan sehingga padatan yang mempunyai densitas ringan dapat terapung sedangkan padatan yang mempunyai densitas lebih besar akan mengendap pada dasar tangki.

DAF pernah diterapkan dalam mengolah air limbah, baik limbah cair minyak kelapa sawit (Maulinda, 2013) maupun limbah foodcourt (Utama, et al., 2012). Keberhasilan DAF dalam mengolah air limbah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Keberhasilan DAF dalam Mengolah Air Limbah

No	Peneliti	Efisiensi Penurunan		Keterangan
		FO	TSS	
1	Maulinda (2013)	75,36%	47,21%	Laju alir udara 8 m/s dengan waktu tinggal 5 hari.
2	Utama, et al., (2012)	-	92,50%	Tekanan 4,5 bar
		-	93,75%	Tekanan 5 bar
		-	96,25%	Tekanan 5,5 bar
		-	98,75%	Tekanan 6 bar

Keterangan :

(-) : Parameter tidak diteliti

SIMPULAN

Pengolahan air limbah industri batik pada proses *boiling* menggunakan integrasi *biofilter* dan CWs mendapatkan hasil sebagai berikut:

1. Karakteristik air limbah industri batik Jetis pada proses *boiling* memiliki nilai untuk parameter COD sebesar 12.000 mg/L, TSS sebesar 3.180 mg/L, dan minyak & lemak sebesar 9.740 mg/L. Ketiga parameter tersebut sudah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan.
2. Efisiensi penurunan paling optimal yang terjadi pada alat integrasi *biofilter*-CWs untuk parameter COD

sebesar 86,67% pada HRT 3 hari; TSS sebesar 98,18% pada HRT 7 hari; minyak dan lemak sebesar 90,04% pada HRT 3 hari. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa alat integrasi *biofilter*-CWs dalam mengolah air limbah industri batik memiliki nilai optimal pada HRT 3 hari.

3. Air hasil pengolahan limbah industri batik masih melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Permen LH RI No.5 Tahun 2014 sehingga air hasil pengolahan tidak diperbolehkan untuk dibuang ke badan air. Air hasil pengolahan juga tidak dapat diperuntukkan oleh masyarakat karena tidak memenuhi kriteria mutu air pada kelas air yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Air hasil pengolahan belum bisa dipastikan sebagai air bahan bangunan dikarenakan penelitian ini hanya mengkaji parameter COD, TSS, dan minyak & lemak. Hal tersebut membuktikan bahwa alat integrasi *biofilter*-CWs belum efektif dalam mengurangi kadar pencemar air limbah industri batik pada proses *boiling*.

Singkatan

BOD	Biological Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
CWs	Constructed wetlands
HSSF CWs	Horizontal Sub Surface Flow CWs
TSS	Total Suspended Solid
FO	Fat & Oil
pH	Power of Hydrogen

DAFTAR PUSTAKA

- Adrados, B., O. Sánchez, C. A. Arias, E. Becares, L. Garrido, J. Mas, H. Brix, dan J. Morato. 2014. "Microbial communities from different types of natural wastewater 5 treatment systems: vertical and horizontal flow constructed wetlands and biofilters." *Water Research* 1-20.
- Andriani, Riska, dan Hartini. 2017. "Toksisitas Limbah Cair Industri Batik terhadap Morfologi Sisik Ikan Nila Gift (*Oreochromis niloticus*).*" Jurnal SainHealth* 1 (2): 83-91.
- Behin, J., dan S. Bahrami. 2012. "Modeling an Industrial Dissolved Air Flotation Tank Used for Separating Oil from Wastewater." *Chemical Engineering and Processing* 59: 1-8.
- Birgani, Payam Moradi, Navid Ranjbar, Rosniah Che Abdullah, Kien Tiek Wong, Gooyong Lee, Shaliza Ibrahim, Chulhwan Park, Yeomin Yoon, dan Min Jang. 2016. "An efficient and economical treatment for batik textile wastewater containing high levels of silicate and organic pollutants using a sequential process of acidification, magnesium oxide, and palm

- shell-based activated carbon application." *Journal of Environmental Management* 1-11.
- Chaudhary, Durgananda Singh, Saravanamuthu Vigneswaran, Huu-Hao Ngo, Wang Geun Shim, dan Hee Moon. 2003. "Biofilter in Water and Wastewater Treatment." *Korean J. Chem. Eng.* 20 (6): 1054-1065.
- Dehghani, Mansooreh, Hosain Sadatjo, Hoshang Maleknia, dan Narges Shamsedini. 2014. "A Survey on the *Removal Efficiency* of Fat, Oil and Grease in Shiraz Municipal Wastewater Treatment Plant." *Jentashapir J Health* 1-4.
- EPA. 2000. *A Handbook of Constructed wetlands*. Washington DC: Environmental Protection Agency.
- Henderson, C., 2009. *City of Ryde WSUD Vegetation Selection Guide*, Sidney: s.n.
- Hendrawan, Diana. 2008. "Kualitas Air Sungai Ciliwung Ditinjau Dari Parameter Minyak dan Lemak." *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia* 15 (2): 85-93.
- Hidayah, Euis Nurul, Andrysa Djalalembah, Gina Aprilliana Asmar, dan Okik. 2018. "Pengaruh Aerasi Dalam Constructed Wetland Pada Pengolahan Air Limbah Domestik." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 16 (2): 155-161.
- ITRC. 2003. "Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands." Washington DC.
- Jing, Zhaoqian, Rui He, Yong Hu, Qigui Niu, Shiwei Cao, dan Yu-You Li. 2015. "Practice of integrated system of biofilter and constructed wetland in highly polluted surface water treatment." *Ecological Engineering* 75: 462-469.
- Khalik, Wan Fadhillah, Li-Ngee Ho, Soon-An Ong, Yee-Shian Wong, Nik Athirah Yusoff, dan Fahmi Ridwan. 2015. "Decolorization and Mineralization of Batik Wastewater through Solar Photocatalytic Process." *Sains Malaysiana* 44 (4): 607-612.
- Libhaber, Menahem, dan Alvaro Orozco-Jaramillo. 2012. *Sustainable Treatment and Reuse of Municipal Wastewater*. 1st. London: IWA.
- Ling, Teck-Yee, Kasing Apun, dan Siti-Rubiah Zainuddin. 2009. "Performance of a Pilot-Scale Biofilters and Constructed Wetland with Ornamental Plants in Greywater Treatment." *World Applied Sciences Journal* 6 (11): 1555-1562.
- Manyuchi, M. M., dan E. Ketwa. 2013. "Distillery *Effluent* Treatment Using Membrane Bioreactor Technology Utilising *Pseudomonas Fluorescens*." *International Journal of Scientific Engineering and Technology* 2 (12): 1252-1254.
- Maulinda, Leni. 2013. "Pengolahan Awal Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Secara Fisika." *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 31-41.
- Mukimin, Aris, Hanny Vistanty, Nur Zen, Agus Purwanto, dan Kukuh Aryo Wicaksono. 2018. "Performance of bioequalization-electrocatalytic integrated method for pollutants *removal* of hand-drawn batik wastewater." *Journal of Water Process Engineering* 21: 77-83.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Pérez-López, M. E., A. E. Arreola-Ortiz, dan P. Malagón Zamora. 2018. "Evaluation of detergent *removal* in artificial wetlands (biofilters)." *Ecological Engineering* 122: 135-142.
- Qiu, Z.-C. et al., 2011. Plant Growth and Nutrient *Removal* in Constructed Monoculture and Mixed Wetlands Related to Stubble Attributes. *Hydrobiologia*, Volume 661, pp. 251-260.
- Rahman, Hilmi Abdul, Norela Jusoh, Norasikin Othmana, Muhammad Bukhari Rosly, Raja Norimie Raja Sulaiman, and Norul Fatiha Mohamed Noah. 2018. "Green formulation for synthetic dye extraction using synergistic mixture of acid-base extractant." *Separation and Purification Technology* 209: 293-300.
- Rashidi, H. R., N. M. Nik Sulaiman, dan N. A. Hashim. 2012. "Batik Industry Synthetic Wastewater Treatment Using Nanofiltration Membrane." *Procedia Engineering* 44: 2010-2012.
- Rashidi, Hamid Reza, Nik Meriam Nik Sulaiman, Nur Awanis Hashim, dan Che Rosmani Che Hassan. 2013. "Synthetic Batik Wastewater Pretreatment Progress by Using Physical Treatment." *Advanced Materials Research* 627: 394-398.
- Said, Nusa Idaman. 2005. "Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean." *JAI* 1 (1): 1-11.
- Said, Nusa Idaman. 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Sandoval-Herazo, Luis Carlos, José Luis Marín-Muñiz, María Graciela Hernández y Orduñas, dan Antonio Janoary Aleman-Chang. 2018. "Role of Wetland Plants and Use of Ornamental Flowering Plants in Constructed wetlands for Wastewater Treatment: A Review." *Preprints* 1-20.
- Sharifah, I.S.S., A.T.B.S. Tengku Nurul, dan M.K. Nor Khairusshima. 2017. "Thermal Modelling and Analysis of Batik Canting Design." *Procedia Engineering* 184: 326-333.
- Sherlyanne, Kukuh. 2017. "Pengelolaan Limbah Cair pada Sentra Pedagang Kaki Lima Karah dengan

Metode Biofilter.” *Rekayasa Teknik Sipil* 2 (2): 257-267.

Showqi, I. et al., 2016. Biofilters in Mitigation of Odour Pollution - A Review. *Nature Environment and Pollution Technology*, 15(4), pp. 1177-1185.

Sirianuntapiboon, S. & Sohsalam, P., 2012. Observation of Nitrogen and Phosphorus *Removals* and Accumulations in Surface Flow Constructed Wetland (SFCW). *EnvironmentAsia*, 5(2), pp. 53-62.

Soccol, Carlos R, Adenise L Woiciechowski, Luciana P S Vandenberghe, Marlene Soares, Georges Kaskantis Neto, dan Vanete Thomaz-Soccol. 2003. “Biofiltration: An Emerging Technology.” *Indian Journal of Biotechnology* 2: 396-410.

Supenah, Pipin, Endang Widyastuti, dan Rawuh Edy Priyono. 2015. “Kajian Kualitas Air Sungai Condong yang terkena Buangan Limbah Cair Industri Batik Trusmi Cirebon.” *Biosfera* 32 (2): 110-118.

Suprihatin, Hasti. 2014. “Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya.” 130-138.

Suswati, Anna Catharina Sri Purna, dan Gunawan Wibisono. 2013. “Pengolahan Limbah Domestik dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed wetlands).” *Indonesian Green Technology Journal* 2 (2): 70-77.

Sutisna, Edy Wibowo, Mamat Rokhmat, Dui Yanto Rahman, Riri Murniati, Khairurrijal, dan Mikrajuddin Abdullah. 2017. “Batik Wastewater Treatment Using TiO₂ Nanoparticles Coated on the Surface of Plastic Sheet.” *Procedia Engineering* 170: 78-83.

Utama, Bayu Satria, Maria E. Simorangkir, dan I Nyoman Widiasta. 2012. “Pemisahan Fat, Oil, and Grease (FOG) dari Limbah Foodcourt dengan Dissolved Air Flotation.” *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 1 (1): 98-102.

